

ACADEMIA DE INGENIERÍA

# LA SEGURIDAD DE LAS INFRAESTRUCTURAS. EL CASO DE LOS INCENDIOS EN TÚNELES

DISCURSO DEL ACADÉMICO

**EXCMO. SR. D. ENRIQUE ALARCÓN ÁLVAREZ**

LEÍDO EN LA SESIÓN INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO  
EL DÍA 29 DE ENERO DE 2002



MADRID MMII

Editado por la Academia de Ingeniería

© 2002, Academia de Ingeniería

© 2002 del texto, Enrique Alarcón

ISBN: 84-95662-07-8

Depósito legal: M-2.036-2002

Impreso en España

LECCIÓN INAUGURAL  
DEL AÑO ACADÉMICO 2002

Excmos. Sres.  
Señoras y señores  
Queridos amigos

Es costumbre que la Lección Inaugural del Curso de la Academia de Ingeniería se refiera a un tema de actualidad. Los terribles incendios en los túneles de Mont Blanc (Figura 1) y Tauern en 1999 pusieron de manifiesto la existencia de un problema potencial en las infraestructuras de transporte y, por ello, cuando en agosto de 2001 se produjo la muerte de ocho personas en el túnel de Gleinalm, y en octubre la de otras 11 en el de San Gotardo, la Junta de Gobierno me propuso una reflexión sobre la seguridad en túneles desde el punto de vista ingenieril.



*Figura 1.* Túnel de Mont Blanc tras el incendio.

Las infraestructuras son generalmente soluciones a problemas sociales y económicos que se traducen en el desarrollo y bienestar de la comunidad. Se crean como un acto de fe en el futuro y su éxito suele ser tal que crecen de forma continua (Figura 2), véase el caso de las carreteras o los aeropuertos, permiten cambios sustanciales, recuérdese el desarrollo de Madrid o de cualquier ciudad tras la construcción de los abastecimientos de aguas, y se hacen imprescindibles hasta el punto de provocar la exasperación de los usuarios en casos de mal funcionamiento.

GRACIELA G. BALLEAS  
GUADARRAMA - La ampliación de la carretera de A Coruña que concluyó en 1994 no ha servido para evitar los atascos en esta carretera, especialmente en fines de semana, puentes y vacaciones. Solo los ha trasladado unos kilómetros. Esto se debe, en gran medida, al cuello de botella que suponen los túneles de Guadarrama con una capacidad limitada a 3.600 vehículos por hora, que, evidentemente, no puede sobrepasarse por razones de seguridad.

Por ello, Iberpistas, concesionaria de la autopista A-6, está dispuesta a invertir un total de 25.000 millones de pesetas en las obras de ampliación de la carretera de A Coruña, entre el Pinar de Las Rozas y el municipio segoviano de San Rafael, incluida la construcción de un tercer túnel bajo el Puerto de Los Leones, que sirva, tanto para paliar los atascos como para dotar a los existentes de mejores medidas de seguridad y vías de evacuación en caso de accidente. Iberpistas

**-LAS OBRAS EMPEZARAN EN 2002-**

**Iberpistas invertirá 15.000 millones en el tercer túnel de Guadarrama en la A-6**

convendrá incluso las obras que sobrepasan los límites de su concepción, porque «no nos serviría de nada trasladar el atasco, hay que conseguir una solución global», explica José Antonio López Casas, consejero de Iberpista de Autopistas, S. A. (Iberpistas).

Las obras se han programado en tres fases y la primera y más avanzada, acaba de concluir el periodo de exposición pública y alegaciones, abarca entre el enlace del Pinar de Las Rozas con la M-50 y Collado Villalba, un tramo que ya se incluyó en la ampliación de 1994, donde se construirán dos nuevos carriles por cada sentido. La segunda fase afectará al trayecto entre Collado Villalba y la salida del Valle de Los Caídos. Sigue en la página 4

Figura 2. Noticia de prensa sobre nuevas infraestructuras (*El Mundo*, 26 de noviembre 2001).

Precisamente, que el accidente sea insoportable es una característica que muestra la doble faceta del quehacer ingenieril en este caso: por un lado, el éxito de la solución es claro, ya que su falta produce el sentimiento de sorpresa, pero por otro muestra los fallos de previsión y, por tanto, la limitación de nuestros conocimientos.

Como en otras ramas de la ingeniería, las infraestructuras se construyen mediante la toma de decisiones sobre datos incompletos. Pero lo mismo podría decirse de cualquier acto de nuestra vida. Según Franklin, «...todo es incierto salvo la muerte y los impuestos». El riesgo es parte de nuestra forma de vivir; está en las raíces del saber, de nuestros valores y de nuestras emociones. Es decir, en la base de nuestra existencia.

Sin embargo, la percepción del riesgo por parte del usuario es distinta de la del ingeniero. Éste, intentando actuar de forma objetiva, pondera los beneficios frente a la peligrosidad y cuando juzga que el balance es positivo, acepta el envite. El usuario, por su lado, sólo ve que el número de afectados es generalmente grande y que de ninguna forma él esperaba un fallo: el carácter habitual del uso le ha conducido a una percepción equivocada de seguridad absoluta. El ingeniero se encuentra ahí con un doble factor de ponderación negativa: socialmente es más aceptable tener, por ejemplo, 50 víctimas en 50 accidentes individuales, que 50 víctimas en un solo accidente y además se considera más aceptable el riesgo si existe una cierta sensación de control individual del mismo, por muy falsa que aquélla sea. En la literatura inglesa es famoso el caso del fumador empedernido, asiduo practicante del parapente, que sin embargo se negaba a viajar en British Airways.

Estos factores psicológicos ponen de manifiesto lo difícil de la objetividad en la fijación de lo que pueda ser considerado como riesgo «admisibile». Por otro lado, el propio concepto de riesgo está construido como el producto de la probabilidad del suceso, a veces llamada peligrosidad, y la esperanza del daño producido, o vulnerabilidad de la estructura. La dificultad en este caso viene de la combinación de una cantidad que tiende a cero con un daño que tiende a infinito.

Además, el riesgo conscientemente aceptado suele ser tan sólo una pequeña parte del total. Un conocido tratadista<sup>1</sup> asegura que el riesgo residual tras tomar las medidas oportunas tanto en proyecto como en obra se reparte, *grosso modo*, al 15% para el conscientemente aceptado y el 85% correspondiente a los errores humanos o fallos de conocimiento. Esto pone de manifiesto la importancia de impulsar tanto la investigación y el conocimiento en general como los planes de aseguramiento y gestión de la calidad, en paralelismo con la doble faceta de la labor ingenieril: más científica en la etapa de proyecto y más gestora en la etapa constructiva y de explotación.

Debe remarcarse además el carácter de prototipo de toda obra pública y la diferencia entre tratamientos como ISO 9000 más adecuados para artefactos producidos en masa que para obras singulares. En éstas, el accidente cumple la labor de marcaje de los contornos del estado del arte, de la admisibilidad de los paradigmas aceptados y de su necesidad de renovación; la importancia de su estudio estriba en su capacidad de motivación de la creatividad. Es clásico el recordatorio al invento de la apertura en clave de los arcos gracias al *cuasi* accidente de Freyssinet en el puente de Veuredre sobre el Allier; debido a un mal conocimiento de la ley de comportamiento del hormigón<sup>2</sup> o a la importancia de los diseños aerodinámicos en los tableros de puentes colgados tras el accidente de Tacoma, motivado por un desconocimiento de los fenómenos de acoplamiento fluido-estructura y, como en el caso anterior, por llevar al límite tipologías o métodos de cálculo.

---

<sup>1</sup> J. Schneeder: «Introduction to Safety and Reliability of Structures». IABSE. Structural Engineering Documents: 1997.

<sup>2</sup> Posteriormente, parodiando a Mistral Freyssinet dice del Veuredre: «C'est mon cœur et mon âme: c'est la fleur de mes ans» - E. Freyssinet: «Naissance du Béton Précontraint et vues d'Avenir». Traité, junio 1954.

A veces, el accidente que estimula la creatividad no tiene por qué ser tan dramático. El arquitecto Henry Vidal estaba preocupado por el hundimiento de los muros de los castillos de arena que construía en la playa mucho antes de conseguir las dimensiones que él deseaba. Tras observar que con la incorporación de acículas de pino conseguía ganar todos los concursos a los que se presentaba, decidió cambiar la escala, sustituir las acículas por bandas resistentes a tracción y pasar al campo de las obras públicas con lo que luego se ha llamado «tierra armada».

Para entonces ya se conocía la teoría de «falseabilidad» de Popper, que puede utilizarse perfectamente en ingeniería: ante un problema identificado se conjetura una solución y se deduce una hipótesis ensayable. Mediante una campaña de pruebas se intenta la refutación y, finalmente, se escoge entre teorías diferentes. En el caso de Vidal, su conjetura de confinamiento local fue ensayada sistemáticamente en laboratorio alrededor de 1966 y finalmente aplicada de forma masiva en todo el mundo.

Puede decirse que el esquema anterior es precisamente el que se aplica tras los accidentes en ingeniería. De la observación de los mismos y de su intento de reproducción en modelos físicos o numéricos, con la interpretación correspondiente, se consigue llegar a un «paradigma actual» que se recoge en normas y códigos de buena práctica que reflejan el estado del conocimiento. Este esquema es sabido y sus roles relativamente bien distribuidos entre Universidades y Centros de Investigación, Empresas constructoras y Ministerios. Quedaría así cubierta la parte de «control del riesgo» que pudiera adjudicarse a proyecto y construcción. Más reciente y menos conocida es la actividad relacionada con la «gestión del riesgo» correspondiente a la fase de explotación y que se revela decisiva en el tema objeto de esta charla.

La **construcción de túneles**<sup>3</sup> está íntimamente ligada al progreso de las infraestructuras y ha experimentado importantes renovaciones con el desarrollo industrial. Ejemplo es la evolución de la técnica del escudo desde el primer invento de Marc Brunel para pasar bajo el Támesis hasta las máquinas actuales o el desarrollo de técnicas que, como el llamado

---

<sup>3</sup> J. A. Juncá: «El túnel, historia y mito», CICCOP, 1990.



método austriaco, resumen los buenos principios ingenieriles de observación, medida e interpretación, lo que ha permitido aplicar la teoría de fiabilidad estructural a estas construcciones<sup>4</sup>.

Sin embargo, el énfasis pretende ponerse no tanto en la seguridad estructural de la obra como en la del usuario y comentar la gestión del riesgo asumido por éste durante la explotación de aquélla.

Desde este punto de vista, aparecen diferencias sustanciales entre los diferentes tipos de túneles de tráfico. Así, en los de carretera la circulación es generalmente aleatoria con muchos vehículos y pocos usuarios, lo que hace que en situaciones de servicio imperen las condiciones de confort relativas a iluminación y ventilación (especialmente esta última como método de control activo de las emisiones), mientras que en el caso de accidente con fuego sea fundamental el tipo de vehículos para fijar la potencia de cálculo del incendio. En el caso de túneles urbanos, la cuestión se complica con la posibilidad de retenciones, con las estrictas condiciones de geometría y por el uso continuo y repercusión inmediata de cualquier disfunción.



Figura 3. Noticia de prensa (*El País*, 13 de noviembre de 2000).

\* E. Laso; S. Gómez Lera; E. Alarcón: «Level II reliability approach to tunnel support design». *Applied Mathem. Modelling*. Vol 19; 1995.



Por contra, en los túneles de ferrocarril el tráfico es regular pero, a cambio, la salida masiva de viajeros en caso de accidente crea una problemática especial en cuanto a la evacuación. Si se trata de ferrocarriles metropolitanos el problema se ve incrementado por la interconexión entre túneles y la posible extensión de humos.

Finalmente, existen situaciones especiales como los «people movers» en aeropuertos o los funiculares con condiciones excepcionales de pendiente, en los que acontecimientos recientes han puesto también de manifiesto la peligrosidad del incendio (Figura 3).

En lo que sigue se harán consideraciones exclusivamente respecto a los túneles de carretera y en particular sobre la seguridad en caso de incendio, puesto que para las situaciones de servicio ya han comenzado los intentos de aplicación de la teoría de la fiabilidad<sup>5</sup>.

Si, como se dijo más arriba, del estudio de los accidentes se extraen conclusiones importantísimas y el accidente más grave es el incendio, conviene analizar los resultados de los mismos. La tabla de la página siguiente muestra la estadística de incendios documentados hasta comienzos de 2002.

En los 38 incendios catalogados se han producido 122 muertos, 70 de los cuales, es decir, el 57% del total, corresponden a los de Mont Blanc y Tauern de 1999 y Gleinalm y San Gotardo de 2001.

Generalmente, en todos los casos se observa la acumulación de circunstancias erróneas típicas de los accidentes graves: en proyecto, en construcción y en explotación, pero también fallos achacables a la normativa o a factores sociales.

En cuanto a proyecto, probablemente el error más grave ha sido la subestimación del crecimiento del tráfico que, con la internacionalización del mercado, ha sufrido un desarrollo imparable.

Se observa así la existencia de túneles estrechos con circulación en doble sentido sometidos a tráfico desahogado. Por ejemplo, Mont Blanc tiene

---

<sup>5</sup> L. Mochón: «Ventilación de túneles de Carretera». Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid; 1997.

N.º	AÑO	TÚNEL	LONGITUD (m)	N.º DE TUBOS	CAUSA DEL INCENDIO	PERSONAS AFECTADAS
1	1949	Holland (N.Y. USA)	2.600	1	Camión con disulfuro de carbono	66 intoxicados
2	1965	Blue Montain (USA)	1.302	2	Camión con aceite de pescado	—
3	1969	Moorflet (Alemania)	243	2	Rueda de un camión	—
4	1974	Chesapeake Bay (USA)	?	?	Cisterna con gasolina	1 intoxicado
5	1975	Guadarrama (España)	3.345	2	Camión con resina de pino	—
6	1975	Porte d'Italie (Francia)	425	2	Camión con fibras de poliéster	12 intoxicados
7	1978	Vesler (Holanda)	768	2	Camión con flores y bebidas	5 muertos 5 heridos
8	1979	Nihonzoka (Japón)	2.045	2	Colisión con camión con ether	7 muertos 3 heridos
9	1980	Kajiwara (Japón)	740	2	Camión que transportaba pinturas	1 muerto
10	1980	Sakai (Japón)	459	2	Choque con un camión	5 muertos
11	1982	Caldecott (California, USA)	1.028	3	Colisión con cisterna de gasolina	7 muertos
12	1983	Pecorile (Italia)	602	2	Camión con pescado	8 muertos
13	1983	Frejus (Francia)	12.870	1	Camión con plásticos	1 intoxicado
14	1984	S.Gotardo (Suiza)	16.321	1	Camión con plásticos	—
15	1984	Felbertauern (Austria)	5.130	1	Avería de los frenos de un autobús	—
16	1986	L'Armé (Francia)	1.105	1	Incendio de un coche	3 muertos
17	1987	Gumefens (Suiza)	343	2	Camión	2 muertos
18	1988	Herzogber (Austria)	2.007	1	Camión	—
19	1990	Mont Blanc (Francia / Italia)	11.600	1	Tráiler con algodón	2 intoxicados
20	1990	Roldal (Noruega)	4.657	1	Calentamiento del motor de un camión	1 intoxicado
21	1993	Serra Ripoli (Italia)	442	?	Camión con rollos de papel	4 muertos
22	1993	Hoden (Noruega)	1.283	1	Choque de un coche con un camión	—
23	1994	Castellar (Francia)	570	2	Camión con residuos de papel	—
24	1994	Huguenot (S. África)	3.914	1	Caja de cambios de un autobús	1 muerto 28 intoxicados
25	1994	S.Gotardo (Suiza)	16.918	1	Rotura de una rueda de un camión	—
26	1994	Kingsway (UK)	2.000	2	Incendio del motor de un autobús	—
27	1995	Pfander (Austria)	6.719	1	Choque de un camión que transportaba pan	3 muertos
28	1995	Hitra (Noruega)	5.645	1	Incendio del motor de un camión grúa	—
29	1996	Isola delle Femine (Italia)	148	1	Cisterna con gas	5 muertos 20 heridos
30	1996	Ekeberg (Noruega)	1.563	2	Pérdida de un autobús	—
31	1997	S.Gotardo (Suiza)	16.918	1	Incendio del motor de un autobús	—
32	1997	S.Gotardo (Suiza)	16.918	1	Incendio del motor de un camión	1 intoxicado
33	1999	Mont Blanc (Francia / Italia)	11.600	1	Incendio de un camión con margarina	39 muertos
34	1999	Gleinalm (Austria)	8.320	1	Autobús	—
35	1999	Tauern (Austria)	6.041	1	Camión con botes de pintura	12 muertos
36	2000	Frejus (Francia)	12.870	1	Camión con televisores	—
37	2001	Gleinalm (Austria)	8.320	1	Colisión frontal coche-camioneta	8 muertos
38	2001	San Gottardo (Suiza)	16.322	1	Colisión frontal entre camiones	11 muertos

Tabla 1. Incendios en túneles<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> B. Celada; M. Cabo; M. Fernández: «Algunos aspectos del proyecto de túneles de carretera que inciden en su seguridad» en *Monográfico de Túneles* Ingeopress N.º 7; 2001.

una calzada con anchura de tan sólo 7 m incluyendo los dos carriles; el tráfico en San Gotardo era del orden de los 20.000 vehículos diarios con un porcentaje de camiones de alrededor del 40% circulando por una calzada de 7,8 m. Su cierre y el retraso en la reapertura del Mont Blanc estuvieron provocando el paso de 3.000 vehículos pesados diarios a través del túnel de San Bernardino, que estaba previsto para 2.000 vehículos diarios de todo tipo. Ello ha dado lugar a una queja del gobierno suizo ante la posición francesa de impedir en la primera etapa de su apertura provisionalmente el paso de camiones por Mont Blanc, ya que todo el tráfico pesado se está concentrando en aquél y en Frejus. Cabe decir también que el 70% de las víctimas mortales se han producido en túneles de doble sentido de circulación.

En muchos casos, la falta de rutas de escape es un reflejo de la confianza del proyectista en el habitualmente limitado alcance de los accidentes. De hecho, tal como se indica en la ref. 6 «La totalidad de las víctimas mortales... se han producido con posterioridad a 1978». Sin embargo, el salvamento de la gran mayoría de los afectados en el incendio de San Gotardo (Figura 4) del pasado octubre fue posible gracias a la existencia de galerías de evacuación hasta un túnel de emergencia, frente a la fallida teoría de los refugios presurizados pero sin salida de Mont Blanc. Esta última

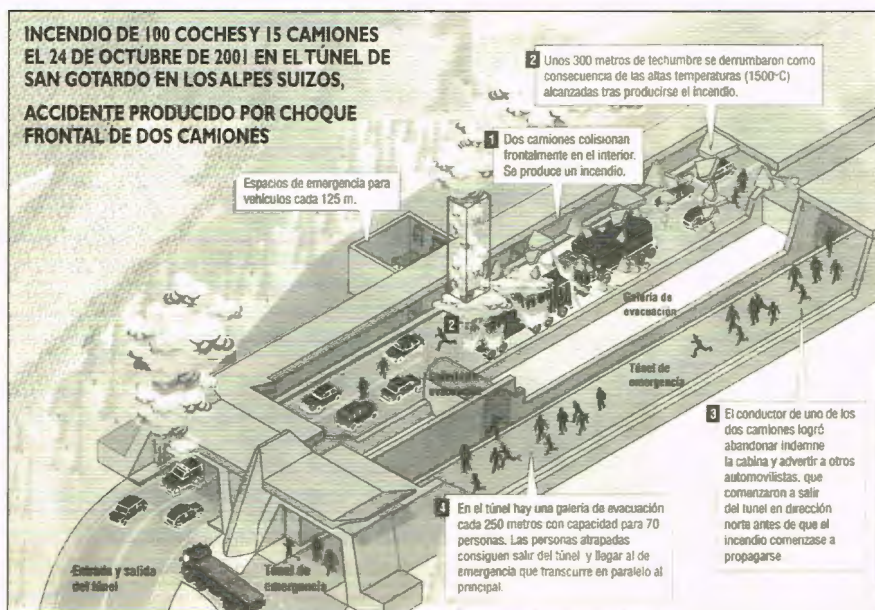


Figura 4. Noticia de prensa (*El Mundo*, 26 de octubre de 2001).



solución paradigmática en la ingeniería francesa de túneles ha quedado completamente arrumbada y lo mismo cabe decir del respeto reverencial a los sistemas de ventilación transversal o semitransversal. En Tauern, el sistema transversal puro con pequeñas boquillas de aspiración repartidas a distancias cortas sólo fue capaz de mantener la estratificación de la capa de humos durante 15 minutos (y en circunstancias muy favorables) hacia la boca más próxima. En su reconstrucción se han sustituido aquéllas por exutorios de unos 5 m<sup>2</sup> colocados aproximadamente a 50 m de distancia.

Por otro lado, el control del tiro natural, fundamental en la lucha contra el incendio, sólo es posible en estos sistemas mediante programas de soplado y aspiración alternada en diferentes cantones, lo que a veces no se puede conseguir. Por ello, en el Mont Blanc la ventilación semitransversal se ha completado con un sistema de aceleradores longitudinales con los que se intentará reducir el movimiento del aire en situaciones extremas (Figura 5).

Finalmente, por lo que se refiere a proyecto, se han observado daños importantes a las estructuras resistentes que no han sido, generalmente, dimensionadas o protegidas frente al incendio.

El fallo más importante que se suele producir en la etapa de **construcción** se refiere a la falta de ensayos de las instalaciones, principalmente de ventilación. Aunque en ingeniería de túneles existe una tradición generalizada de control continuo de suministros y obra, el buen acoplamiento entre la obra civil y las máquinas que se le añaden se da por supuesto o se reduce algunas veces a controles sumarios y se está tentado a menudo de



*Figura 5.* Aceleradores en clave túnel de Mont Blanc

no comprobar que el sistema formado por máquinas y conductos ofrece realmente las prestaciones previstas en proyecto.

Esto sucede en toda Europa y sólo en los últimos años se está desarrollando una cultura de ensayos *in situ* que permitan medir e interpretar la estanqueidad y el comportamiento aerodinámico del conjunto con simulaciones que no necesariamente han de ser llevados a cabo con fuego real. Puesto que se trata de ensayos caros y largos, este punto debería ser tenido en cuenta en las estimaciones de costes y plazos de las obras.

También se observan errores llamativos en la fase de **explotación**. Como en otro tipo de accidentes (recuérdense los casos de Chernobyl o Three Mile Island), con el uso habitual y con la solución de pequeños problemas se produce un estado de confianza excesiva en la controlabilidad de los sucesos y una relajación del cumplimiento de las normas y procedimientos establecidos. A veces, ello está combinado con acciones que pretenden ser heroicas, como la del equipo francés de extinción que para intentar optimizar el tiempo se introdujo directamente en el Mont Blanc sin pasar por el puesto de mando de gestión del accidente como estaba establecido, dando lugar a la muerte de su responsable y a uno de los rescates más complicados de todo el incendio.

En otros casos, son objetivos contradictorios los que pesan en el ánimo de personas que en segundos deben tomar decisiones muy complicadas; así en el mismo incendio, cabe citar el caso del controlador italiano, que en lugar de ordenar la aspiración de humo, como estaba reglamentado, utilizó el conducto de extracción para inyectar más aire fresco, con lo que, deliberadamente según declaró posteriormente, sabía que salvaba a las personas atrapadas en la parte italiana del túnel a costa de complicar la situación en la parte francesa.

Ajustarse a los procedimientos establecidos, eliminar duplicidades en el control (aunque se trate de túneles internacionales) y rebajar la responsabilidad del operario, son factores importantísimos. Hasta muy recientemente<sup>7</sup> se ha defendido que el control automático de los equipos de túnel debía limitarse a las condiciones de servicio y que, en caso de fuego, el mando debería transferirse al operario para que éste decidiese las actuaciones.

---

<sup>7</sup> M. Marec: «Conferencia en el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos». Madrid; 1999.

Sólo la desconfianza ante las posibilidades de la computadora puede permitir que se pretenda dejar en manos de una persona colocada en una situación de tensión máxima, una actuación que para tener éxito debe permitir la evacuación en los primeros quince minutos del accidente.

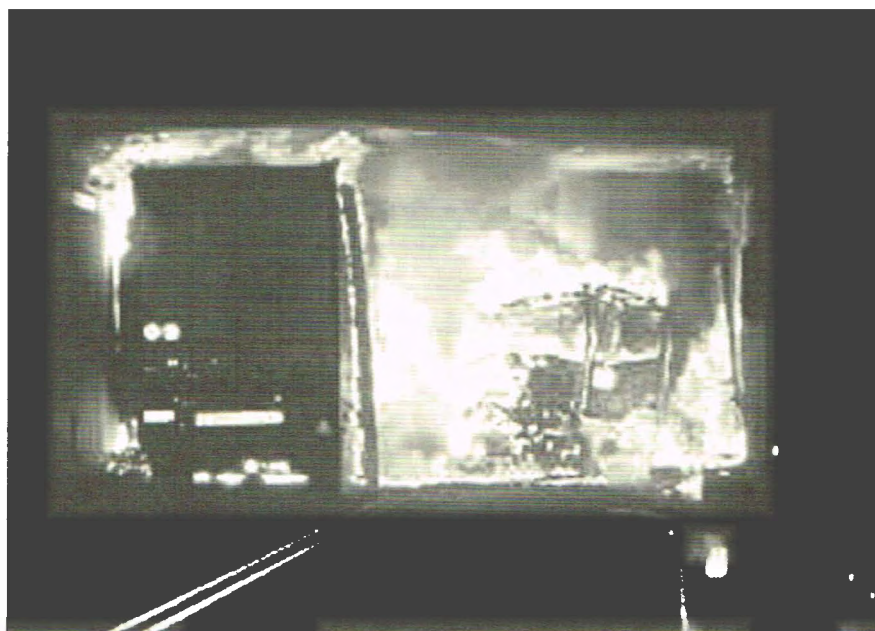
Por ello, es fundamental el análisis de escenarios de cálculo que permitan preprogramar las pautas de actuación según las condiciones de contrapresión atmosférica, tráfico, estado previo de los ventiladores, etc. Es el camino seguido para el túnel de Somport, donde se ha hecho un amplísimo estudio morfológico de casos que han sido incorporados a la gestión automatizada del accidente<sup>8</sup>.

En este sentido, cabe indicar también que en muchos casos la primera dificultad radica en la localización del incendio. En el caso del Mont Blanc ello fue imposible, pues los humos pusieron inmediatamente fuera de servicio los sistemas ópticos, mientras que en el Tauern la localización precisa permitió incluso jugar con las inyecciones de aire fresco para resolver problemas locales de evacuación. En el sistema actual de Mont Blanc, la única decisión que se deja al operario es precisamente aceptar o corregir la posición del incendio que le indica el sistema automático.

Aunque ya se ha hablado de los fallos de coordinación cuando existen controles múltiples, cabe indicar también los relacionados con la colaboración de los equipos de extinción de incendios de las localidades cercanas. Las experiencias habidas indican que la llegada no se produce antes de 20 minutos. Es decir, son fundamentales los dispositivos de autodefensa del túnel para la etapa de salvamento de las personas que, como se dijo, sólo es efectiva en los primeros 15 minutos. La llegada de los equipos de extinción abre una segunda fase: la reducción de los daños a la propia infraestructura y el control del fuego, etapa que puede durar varios días, como se vio en los casos de Mont Blanc y San Gotardo (Figura 6).

Finalmente, un tema importantísimo de la explotación es el control de tráfico. En alrededor del 95% de los casos la causa del accidente recae so-

<sup>8</sup> L. Del Rey - Espinosa; E. Alarcón: «Automatización de criterios para actuación de la ventilación en el túnel del Somport». CEMIM (Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica), 2001.



*Figura 6.* El fuego de San Gotardo horas después del accidente.

bre los vehículos pesados, con o sin mercancías peligrosas. Pero no debe olvidarse la evolución hacia el gigantismo de los camiones y, en particular, la importancia que empiezan a tener los depósitos auxiliares de combustible de repuesto que, aunque facilitan su autonomía en los largos viajes que impone la internacionalización del comercio, transforman cualquier vehículo de gran tonelaje un objeto de alto riesgo.

Puesto que muchas de las lecciones aprendidas son recientes, está claro que estamos ante un déficit de **Normativa**. Tan sólo PIARC, dado su carácter de organismo independiente, ha mantenido una actividad publicista continuada. Si se toman como referencia las instalaciones de ventilación, es llamativa la evolución de la extensión dada al tema del incendio desde las recomendaciones del Congreso de México de 1987 (apenas dos páginas) hasta el volumen editado en 1999 (200 páginas). Existen intentos nacionales interesantes como la norma holandesa de 1991 donde se planteaba el enfoque probabilista, la alemana de 1994 con abundante información o las circulares francesas. En general, se observa que hay una disminución progresiva de la aceptación de riesgos y una demanda cre-



ciente de seguridad que conduce a un aumento en las exigencias de dimensionamiento<sup>9</sup>.

En España existen proyectos en marcha impulsados por las Direcciones Generales de Carreteras y Ferrocarriles intentando desarrollar la Instrucción de Obras Subterráneas (IOS 98) y que, seguramente, estarán muy influidas por la normativa PIARC, que constituye la recopilación del conocimiento existente. Tras lo dicho más arriba, sería igualmente recomendable la elaboración de una normativa sobre ensayos de conjunto previos a la puesta en marcha de la obra.

Para finalizar este apartado no pueden dejarse de lado los **aspectos psicológicos** tanto de los equipos de rescate como del propio comportamiento del viajero. Respecto a los primeros, ya se ha comentado la tendencia a despreciar los procedimientos establecidos y a ignorar las singularidades de un incendio en un túnel, para evitar lo cual se precisa un entrenamiento sistemático. En cuanto a los usuarios, son características en todos los accidentes la falta de respeto a las señales de limitación de velocidad e incluso a las de cierre de túnel con semáforo en rojo. En el incendio del Mont Blanc se observó que muchos vehículos entraron en el túnel con la señal de prohibido el paso encendida. Ello ha llevado a la colocación de semi barreras en la nueva reconstrucción y al establecimiento de un fuerte control de la velocidad con penalización inmediata a los vehículos infractores.

Por otro lado, un factor importantísimo es la querencia del viajero a no abandonar su vehículo y, cuando ve el humo, considerarse equivocadamente seguro en su interior, lo que lleva a su muerte por asfixia. En el incendio de Tauern parte del reducido número de muertes fue debido a la reciente permanencia en la memoria de los usuarios del accidente del Mont Blanc ocurrido dos meses antes, lo que les impulsó a escapar de forma inmediata. Sin embargo, en el incendio de San Gotardo del pasado año el recuerdo ha debido de borrarse, pues de los 10 muertos habidos (si se exceptúa al conductor del camión que provocó el accidente), 7 permanecieron en sus vehículos y el resto murió asfixiado cuando intentaban alcanzar la salida de escape al perder un tiempo precioso en la decisión de

<sup>9</sup> UNECE - «Recommendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels»; december 2001.

## Seguridad en los túneles: hace falta más inversión

La seguridad de los túneles españoles mejora, aunque sigue floja en comparación con sus 'colegas' europeos, según el Estudio Europeo sobre las Condiciones de Seguridad de los Túneles 2001, patrocinado por varios clubes europeos de automovilistas (en España, RACE y RACC). El estudio analizó la seguridad de 16 túneles de 7 países (Austria, Suiza, Italia, España, Noruega, Dinamarca y Alemania). El balance para los tres túneles españoles incluidos en



él es dispar: mientras Monrepós (N-330) es calificado de 'muy pobre' –el peor puntuado de los 16–, Guadarrama (A-6) se considera 'pobre' y El Negrón (A-66), 'aceptable'.

El Ministerio de Fomento ha invertido 5.000 millones de pesetas para mejorar el equipamiento de seguridad de los túneles. No obstante, el RACE opina que hace falta más coordinación entre los responsables de la gestión y seguridad de los túneles.

El Ministerio de Fomento ha invertido 5.000 millones de pesetas para mejorar el equipamiento de seguridad de los túneles. No obstante, el RACE opina que hace falta más coordinación entre los responsables de la gestión y seguridad de los túneles.

### CONSEJOS PARA CONDUCIR POR TÚNELES

- ✓ Al entrar, encienda la luz de cruce, nunca la de carretera.
- ✓ Quite las gafas de sol.
- ✓ Localice visualmente los mecanismos de seguridad (postes SOS, cabinas ignífugas, zonas de parada de emergencia...)
- ✓ La recirculación del aire evitará que entren gases del escape de otros vehículos.
- ✓ Respete la señalización fija y variable –que puede variar durante el recorrido–.
- ✓ Incremente la distancia de seguridad a 2 ó 3 segundos (el doble para vehículos pesados).
- ✓ Aunque esté permitido, evite adelantar.
- ✓ En túneles con dos sentidos de circulación, deje la mayor distancia lateral posible entre su automóvil y los que vienen de frente.

Figura 7. Noticia de prensa (Revista *Tráfico* Año XVII N.º 148 de 2001).

abandonar el vehículo. Sería deseable, pues, una campaña de educación del usuario que podría incluirse en la obtención de la licencia de conducción.

La etapa siguiente al análisis de los accidentes incluye el desarrollo de **modelos** que permitan estudiar el comportamiento de las soluciones que hayan podido idearse para subsanar las deficiencias observadas. De cara al sistema de ventilación, tiene una especial tradición el uso de modelos físicos a escala reducida en los que se intenta mantener las leyes de la semejanza. Un ejemplo típico<sup>10</sup> es el estudio llevado a cabo en el CETU

<sup>10</sup> D. Lacroix; P. Chasse: «Etude sur maquettes aerauliques des systemes de trappes de desenfumage en tunel routier» CETU; 1994.

para optimizar la colocación y dimensiones de los exutorios, así como el caudal de extracción preciso para maximizar su rendimiento. Sus resultados han sido incorporados a la normativa francesa y en general sirven de apoyo a las recomendaciones de PIARC.

A efectos de proyecto, es notable la evolución habida con los métodos numéricos en computadora, que han permitido utilizar de forma rutinaria los procedimientos monodimensionales de régimen transitorio en redes de tuberías y desarrollar nuevos modelos zonales o tridimensionales que con apoyo en el método de los volúmenes finitos permiten estudiar con un cierto grado de finura fenómenos locales mediante acoplamiento con leyes de combustión muy precisas. Los modelos numéricos juegan un importante papel no sólo en el proceso de dimensionamiento aerodinámico, sino en el análisis paramétrico de las soluciones y en el establecimiento de las pautas de actuación en caso de accidente, acoplando modelos de tráfico con los de fluido, ventiladores, etc.

Como modelos físicos a escala real cabría interpretar también los ensayos realizados en obras existentes o los que han tenido lugar en túneles abandonados. Los ensayos se realizan con humos fríos (generados con

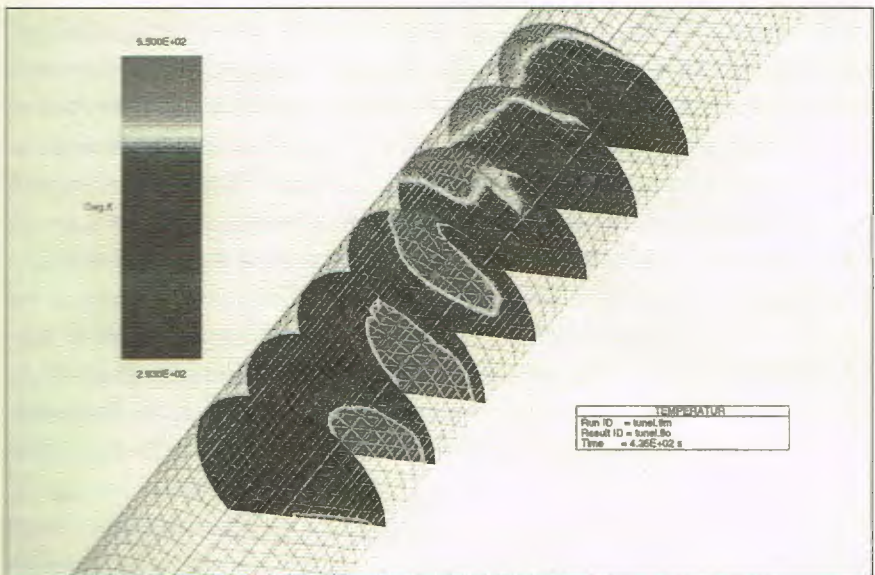


Figura 8. Modelo de incendio en el túnel del Negrón. Temperaturas en la zona del incendio 7 minutos tras su comienzo

botes de humo que se abren con un cierto ritmo para emular la producción durante un incendio) para representar las condiciones existentes cuando se ha producido la desestratificación, o con fuego real si se quieren reproducir las condiciones de un pequeño incendio. En España son conocidos los llevados a cabo en los túneles de El Padrún<sup>1</sup>, donde se puso fuego a un par de vehículos, y los de Lorca, en que el fuego se materializó gracias a un quemador de heptano.

Este último procedimiento se ha impuesto tras los ensayos patrocinados por la Comunidad Europea en un túnel noruego abandonado<sup>2</sup>, donde intervinieron equipos de siete países, entre los que desgraciadamente no se encontraba España. Esta ausencia ha impedido la creación de equipos reconocidos en el extranjero, así como el intercambio de técnicas de medida y ganancia de experiencia para el control de calidad en nuestras obras.

A escala mundial son dignos de citar los ensayos<sup>13</sup> en el Memorial Tunnel (cerca de Boston, USA) (Figura 9), donde se analizaron diferentes sistemas de ventilación, se calibró una fórmula para evitar la recirculación de humos y se estableció una base de datos contra la que contrastar los modelos numéricos.

Aunque los ensayos con fuego real en condiciones controladas son imprescindibles para el progreso del conocimiento, su utilización de forma rutinaria en obras normales es discutible debido a la dificultad de control de parámetros que, como el tiro natural, son definitivos a la hora de establecer el régimen de ventilación. (En Mont Blanc, por ejemplo, ha sido preciso construir unas puertas provisionales en las bocas del túnel con las que controlar el régimen de ventilación previo al ensayo de incendio).

Es mucho más importante garantizar mediante ensayos que el funcionamiento conjunto del sistema obra civil-instalaciones es el previsto, aunque sea innegable el efecto motivador y educativo que los fuegos simulados tienen sobre los equipos de extinción de incendios de las pobla-

<sup>1</sup> F. Hacar; A. Apella; I. G<sup>a</sup> Arango: «Incendios en túneles». Ed. Paraíso; 1993.

<sup>2</sup> E. Ivarsson: «Proceedings of the Int'l Conference on Fires in tunnels» Swedish Nat. Test & Research Institute. Borås: 1994.

<sup>3</sup> Bechtel/Parsons Brinckerhoff: «Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program. Test Report» Massachusetts Highway Department: 1995.





*Figura 9.* Instalaciones de ensayo en el Memorial Tunnel

ciones vecinas y sobre el público en general a través de la relevancia que le suelen otorgar los medios de comunicación.

El progreso del conocimiento que se está consiguiendo por todos estos medios permitirá disponer de una herramienta racional en la toma de decisiones sobre otro problema candente: el **reacondicionamiento** de los túneles existentes para dotarlos de niveles de seguridad aceptables. Recientemente, el Excmo. Ayuntamiento de Madrid ha convocado un concurso al respecto para el mejoramiento de varios túneles urbanos (Figura 10) y el Ministerio de Fomento está llevando a cabo labores semejantes en túneles como el del Bruch o los de la Ronda Litoral, cerca de Barcelona.

El **reacondicionamiento** presenta problemas técnicos pero, sobre todo, su **dificultad** radica en la asignación racional de los limitados recursos disponibles. De aplicación en estos temas pueden ser los estudios de riesgo que se están llevando a cabo para la toma de decisiones respecto al transporte de mercancías peligrosas con los programas QRAM y DSM.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> R. López Guanga; Leal; M. González: «El transporte de mercancías peligrosas a través de túneles de carretera» CEDEX 2001.

OBRAS / CUALQUIER INCIDENCIA EN SU INTERIOR SE CONOCERA INMEDIATAMENTE

## Los 49 túneles de la capital estarán conectados a un único centro de control y seguridad

Viene de la página 1

El propósito de los responsables de los servicios de seguridad y obras es conocer de forma inmediata cualquier incidencia que se produzca dentro de los túneles y canalizar y centralizar las posibles actuaciones de emergencia. El centro de control estará directamente conectado con el Cuerpo Nacional de Policía, la Policía Municipal, Bomberos del Ayuntamiento, el Área de Medio Ambiente, Protección Civil y Movilidad Urbana.

A través del vídeo, 8.000 ordenadores de la Corporación tendrán acceso a toda la información que den las cámaras y micrófonos instalados en los túneles.

Fernando Catalá explicó que este sistema no mejorará los tiempos de respuesta de los servicios municipales, «pero sí sabremos de inmediato de qué incidente se trata, sin esperar a que lleguen los servicios de emergencia y evitando que se acumule tráfico en la entrada del túnel».

Catalá explicó que los primeros túneles que contarán con este sistema, que costará casi 10 millones de euros (1.600 millones de pesetas) serán los más largos: Pío XII-paseo de la Castellana (760 metros), Sinesio Delgado (695 metros) y Costa Rica (630 metros). Los dos más grandes de la ciudad, que se encuentran en construcción, contarán ya con este sistema, por lo que no entran en la actual adjudicación. Son María de Molina, que tendrá más de dos kilómetros, y Santa María de la Cabeza (1.050 metros).

Estos dos últimos contarán

### Más seguridad para los túneles

Un sistema de control de los 49 túneles de la ciudad de Madrid permitirá tener información de cualquier incidencia las 24 horas



### Principales medidas en el túnel de María de Molina

① Seis salidas de emergencia situadas cada 250 ó 300 metros

② Señalización variable exterior e interior (esta última situada cada 300 metros)

③ Control de accesos y galibó Marcara una altura máxima de 3,40-3,50 m

Túnel unidireccional de dos carriles con un arcén de 2,70 m (emergencia)



• Ventilación semitransversal (4) y longitudinal (25) esta última a lo largo del túnel.

• Sistema de circuito cerrado de TV. Detección automática de incidentes por cámaras

• Dos locales de instalaciones a modo de control local del túnel

FUENTE: Ayuntamiento de Madrid

© Sancho / EL MUNDO

además con control de accesos y galibó, postes de auxilio, megafonía, señalización variable exterior e interior, alumbrado de emergencia, detección y extinc-

ción de incendios y seis y dos salidas de emergencia, respectivamente.

La propuesta seleccionada inicialmente ha sido presentada

por Dragados Obras y Proyectos y será llevada al Pleno de esta misma semana para que en diciembre se apruebe definitivamente.

Figura 10. Reacondicionamiento de túneles en Madrid. Noticia de prensa (*El Mundo*, 21 de noviembre de 2001).

Desde el punto de vista puramente técnico, se puede organizar una lista de prelación basada en estudios organizados en tres etapas; la primera, que pudiera llamarse cribado previo, consiste en la clasificación mediante un sistema experto que otorga una ordenación numérica a los aspectos de peligrosidad del accidente (establecido como probabilidad durante la vida útil en función de las características de tráfico, disposiciones geométricas, etc.), vulnerabilidad de la estructura (medida en función de los daños estructurales, longitud, medios de autodefensa, etc.), importancia de la obra (medida por los costes de reconstrucción, los perjuicios provocados por

un puesto fuera de servicio, etc.). De esta clasificación salen obras claramente seguras, obras claramente inseguras que necesitan proyectos individuales detallados para calibrar su importancia y, finalmente, casos borrosos a los que podría aplicarse un estudio con modelos numéricos simplificados que permitiera su clasificación ordenada en la lista de prelación.

De nuevo se está ante un campo nuevo en el que la ingeniería debe ofrecer a los responsables políticos criterios profesionales e incrementar el acervo común con el desarrollo de una guía, norma o recomendación que permita unificar criterios y exigencias para garantizar la competencia equitativa y la homogeneidad de la seguridad en las soluciones que se ofrezcan.

Queda pues camino para recorrer y amplio campo a la creatividad. La consideración conjunta del sistema estructura-instalaciones está afectando a la tipología de las soluciones, como puede verse en los recientes proyectos para los nuevos túneles de Vielha<sup>15</sup> y Bracons que incorporan una galería de servicios bajo la vía de tráfico y donde el incendio pasa a ser hipótesis dimensionante en los sistemas de ventilación y control. Quizá el nuevo paradigma sea el retorno a un esquema que sólo formalmente es análogo al del sistema transversal: bajo la calzada y rodeando la galería de servicios, se colocan los conductos de suministro de aire fresco que llega al túnel mediante boquillas practicadas en los hastiales. El falso techo queda así exclusivamente dedicado a la extracción de humos mediante exuto-rios con dimensiones y separación semejantes a los del Tauern. Desde el

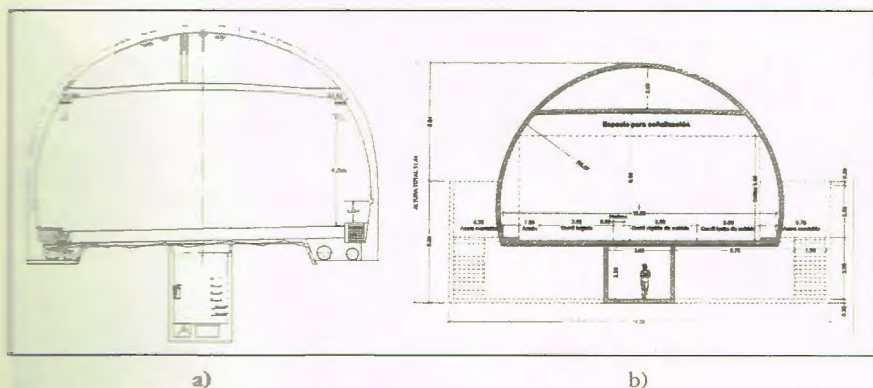


Figura 11. Secciones de los túneles de Vielha (a) y Bracons (b)

<sup>15</sup> Vilanova, J. R. López Laborda: «Elementos de seguridad en el nuevo túnel de Vielha-Alfonso XIII», Ingeopress N° 97, 2001.



punto de vista de resistencia estructural, la forma es perfecta y, funcionalmente, incluye las exigencias de vías de escape, aislamiento de los servicios, entrada de aire frío en lugares que no perjudican la estratificación de la capa de humos en caso de incendio, disposición de un amplio canal de extracción y evitación de la inversión de los ventiladores (desde suministro de aire a extracción de humos), ahora que UNECE recomienda la eliminación de los sistemas reversibles. En los casos con efectos de contrapresión elevados que no puedan ser controlados mediante el sistema de boquillas y exutorios, el esquema se puede completar con aceleradores longitudinales para control de la velocidad del aire.

La influencia de las condiciones de seguridad en el diseño conduce indefectiblemente a la exigencia de un planteamiento holístico de la solución. El intensivo trabajo de la construcción de nuevas líneas de comunicación con túneles excavados en terrenos con todo tipo de dificultad ha permitido adquirir el conocimiento suficiente para superar la angustia por construir túneles estructuralmente resistentes. Es el momento, pues, de considerar el túnel como un sistema global, un artefacto en que las condiciones de seguridad de explotación obligan a un control activo y pasivo de un conjunto muy complejo de sistemas.



*Figura 12.* Vehículo JANUS con base en Mont Blanc.

En la tabla II se han intentado resumir algunos de los equipos que, dependiendo de la importancia de la obra, pueden encontrarse en túneles actuales. En circunstancias excepcionales, como en Mont Blanc, se añaden todavía otros, como es un puesto permanente de bomberos en el centro del túnel o un extraordinario vehículo especialmente diseñado para la lucha contra el incendio en las restringidas condiciones geométricas de aquél.

### **PASIVOS**

#### **Obra civil**

- Apartados y galerías de cambio de sentido
- Nichos de seguridad y nichos de incendio
- Refugios
- Galerías de evacuación
- Depósitos y red contra incendios

#### **Instalaciones**

- BIES
- Redes de agua y cauces de recogida
- Alimentación eléctrica múltiple y equipos de reserva
- Iluminación
- Señalización con paneles fijos y variables
- Semáforos y semibarreras
- Redes de comunicación

### **INFORMATIVOS**

- Detectores de CO, NO<sub>x</sub> y opacímetros
- Anemómetros
- Teléfonos
- Cámaras de vídeo y DAI
- Radio
- Localización termométrica

### **ACTIVOS**

- Ventilación
- Exutorios motorizados
- Rociadores
- Vehículos de evacuación
- Vehículos de lucha contra el fuego

### **CONTROL**

- Plataforma informática
- Automatas en túnel

La comercialización de la fibra óptica ha permitido el establecimiento de redes de comunicación muy fiables y los progresos en la velocidad de tratamiento y en la capacidad de las computadoras han llevado a la multiplicación de las señales de control, a la posibilidad de su tratamiento armónico para la detección del incendio y la consiguiente selección de una pauta de actuación, que se aplica automáticamente si en un intervalo de pocos minutos el operador no ha contestado a las alarmas y propuestas que ha transmitido el sistema. La Figura 13, que corresponde al sistema previsto para el túnel de Somport, muestra la riqueza de posibilidades de que se dispone actualmente.

Es especialmente importante el uso del tratamiento de imágenes para la detección automática de incidentes (DAI), que permite reconocer paradas, adelantamientos, excesos de velocidad, caída de bultos, etc., así como el desarrollo de sistemas de detección térmica de tipo fibroláser para situar el incendio con gran precisión.

Con ello se cumple la necesidad de autodefensa y respuesta rápida a la fase inicial tras el accidente cuyo objetivo es el salvamento y evacuación de las personas.

En la segunda fase de extinción del incendio son fundamentales los recursos ajenos de parques de bomberos e incluso instalaciones comple-

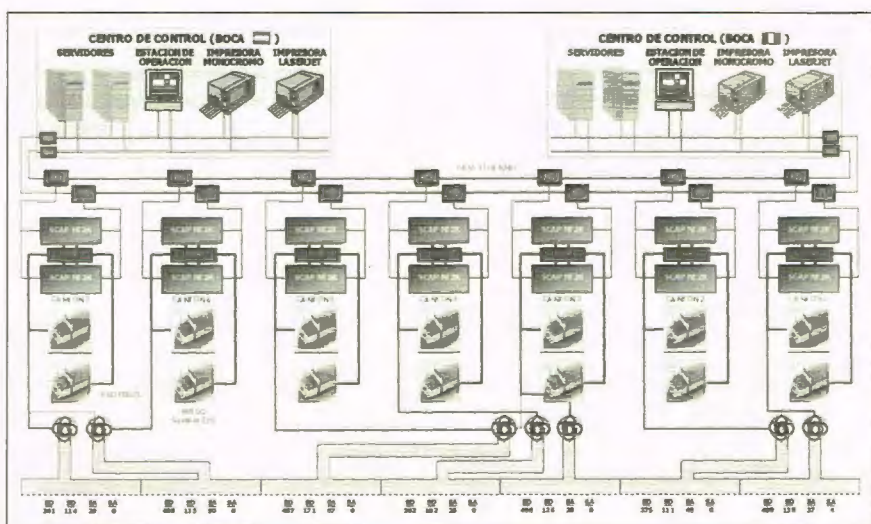


Figura 13. Arquitectura del sistema de control de Somport.

mentarias que, como los rociadores (contraindicados en la primera fase), contribuyen a reducir las temperaturas en el interior del túnel. Además, es fundamental la gestión del accidente especialmente en la armonización de las numerosas instancias que pueden llegar a verse involucradas en la respuesta al mismo, algunas de las cuales se citan en la Tabla III.

### SERVICIOS LOCALES DE EMERGENCIA

Bomberos  
Ambulancias  
Policía  
Ejército

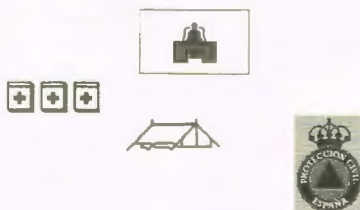


### GRUPOS DE VOLUNTARIOS DE COMUNIDADES PRÓXIMAS



### GOBIERNO LOCAL

Gabinete de Crisis  
Hospitales  
Centros de Acogida  
Protección Civil



### ASOCIACIONES PROFESIONALES Y COMERCIALES

Ingenieros  
Transporte  
Equipos y maquinaria de ayuda



### MEDIOS DE COMUNICACIÓN PÚBLICOS

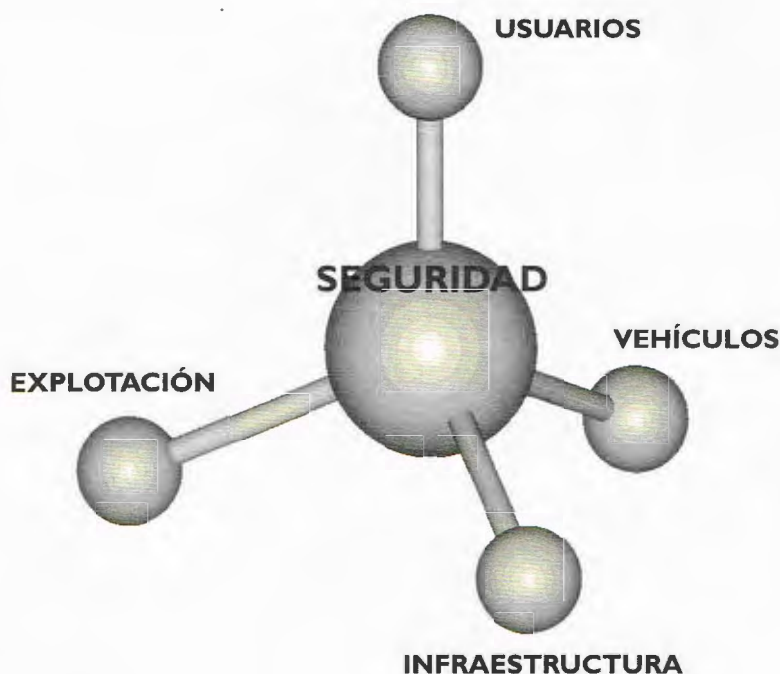


### GOBIERNO CENTRAL

Ministerio de Fomento  
Ministerio de Sanidad  
Ministerio de Economía  
Ministerio de Medio Ambiente







*Figura 14*

Aunque por inclinación profesional he dedicado la mayor parte del tiempo a hablar sobre las infraestructuras, no quiero terminar sin insistir en la responsabilidad compartida entre los cuatro vértices de tetrápodo propuesto por UNECE (Figura 14), hasta el punto que el comité de expertos en Seguridad de Túneles<sup>16</sup> ha recomendado a los organismos políticos la adopción de 43 medidas para mejorar la seguridad incluidas en el Apéndice. De ellas, 10 se refieren a la educación de los usuarios como parte principal en el origen de los accidentes, 16 a medidas de explotación de la obra, 11 a condiciones en las infraestructuras y 6 a controles y equipamientos de los vehículos.

Estas medidas se agrupan en dos bloques que afectan al riesgo: la **prevención de accidentes** que pueden poner en peligro vidas humanas, el medio ambiente y las instalaciones del túnel, y la **reducción de las**

<sup>16</sup> UNECE «Recommendations of the Group of Experts on Safety in Road Tunnels» Economic & Social Council U. N. december 2001.

**consecuencias** mediante la autoprotección de los usuarios, la intervención rápida de los servicios de ayuda y del resto de los conductores, etc.

Puesto que en la Unión Europea el transporte por carretera representa el 85% en mercancías y el 93% en pasajeros de todo el transporte terrestre, se comprende que estamos ante un tema de la mayor trascendencia no sólo social y política, sino también económica. Se estima, por ejemplo, que las pérdidas (tanto por reparación como por pérdida de ingresos) producidas en el incendio de Mont Blanc superan los 100.000 millones de pesetas.

Quiero poner de manifiesto con ello que se está ante un apasionante problema ingenieril pero también ante un tema de seguridad ciudadana para la que no bastan las grandes inversiones públicas en infraestructuras, sino que deben ser completadas con una educación de los individuos que deben aprender a protegerse. La seguridad pública, al igual que en otros aspectos sociales, depende del desarrollo de una cultura individual de la protección civil, para cuya gestión la ingeniería esta llamada a participar.

En los temas de seguridad, la labor del ingeniero consiste en evitar que el *futuro futuro* tenga los mismos inconvenientes que el *futuro pasado*. En frase de Popper<sup>17</sup>: «Sólo a través del intento para considerar objetivamente el trabajo realizado —es decir, para observarlo críticamente— y para hacerlo mejor mediante la interacción entre nuestras acciones y sus resultados objetivos, podremos trascender nuestros talentos y a nosotros mismos».

He dicho.

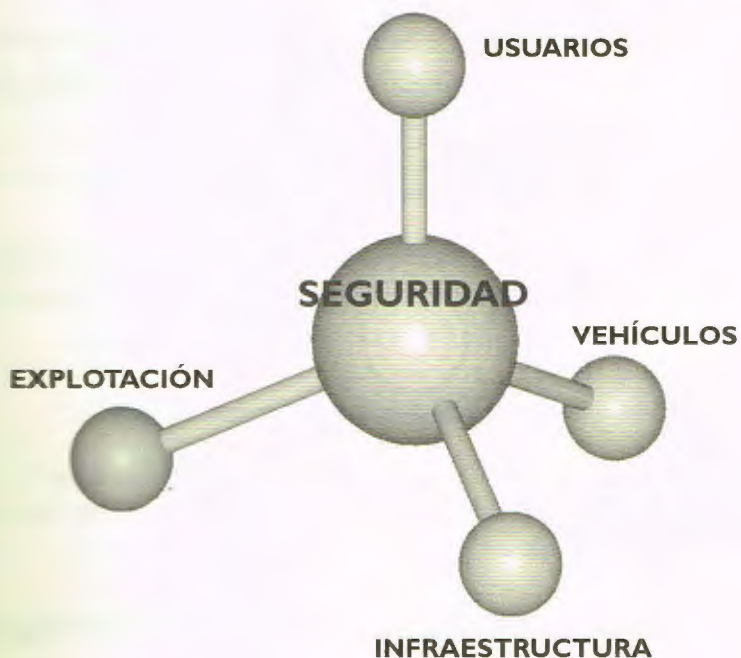
---

<sup>17</sup> K. Popper: «Unended Quest». Fontana 1980.

## **ANEJO**

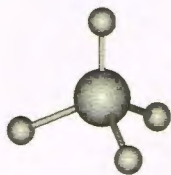
### **Recomendaciones del Grupo de Expertos UNECE sobre Seguridad en Túneles de Carretera**

(UNECE «RECOMMENDATIONS OF THE GROUP OF EXPERTS  
ON SAFETY IN ROAD TUNNELS» ECONOMIC & SOCIAL COUNCIL  
U. N. DECEMBER 2001)





## I. PROPUESTAS RELACIONADAS CON LOS USUARIOS



### I.1. Campañas informativas

De forma sistemática deben establecerse campañas informativas sobre la seguridad en túneles, organizadas y llevadas a cabo en colaboración con las principales organizaciones afectadas.

### I.2. Exámenes de conducción

Los exámenes de conducción deben incluir, para todas las categorías de vehículos, preguntas relacionadas con el comportamiento correcto de los usuarios en el interior de un túnel ante el fallo de un vehículo, la congestión, el accidente o el fuego.

### I.3. Extracción de un vehículo incendiado

Si se incendia un vehículo, se recomienda encarecidamente que, siempre que sea posible, el conductor lo lleve al exterior (**principio de autoayuda**).

### I.4. Controles de carretera

Deben intensificarse los controles de carretera en vehículos de mercancías y armonizarse internacionalmente; a disposición de las autoridades afectadas. Deben ser puestos los fondos necesarios para ello.

### I.5. Exámenes para conductores profesionales

Los conductores de camiones, autocares y autobuses deberán pasar exámenes periódicos en relación con su conocimiento de aspectos relevantes a la seguridad de vehículos y equipos.

### I.6. Exámenes para conductores de mercancías peligrosas

En la instrucción de los conductores de vehículos con mercancías peligrosas deben incluirse aspectos específicos del comportamiento en el interior de los túneles.

### **I.7. Reglamento para transporte de mercancías peligrosas a través de túneles**

Estos reglamentos deben racionalizarse internacionalmente.

### **I.8. Adelantamientos**

En ciertos casos, los camiones podrían tener prohibido los adelantamientos en el interior de túneles, incluso con más de un carril en cada sentido.

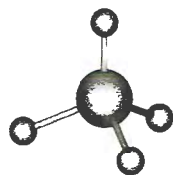
### **I.9. Distancia entre vehículos**

Por motivos de seguridad, los conductores deberían mantener una distancia de seguridad no sólo en situaciones normales, sino también en casos de incidente, congestión, accidente o fuego en el interior del túnel. La pertinencia de establecer una distancia mínima obligatoria debe estudiarse caso a caso.

### **I.10. Limitación de velocidad**

Para mantener una intensidad de tráfico uniforme, se recomienda que, en zonas rurales, NO se limite sistemáticamente la velocidad de los camiones en el interior del túnel a 60 km/h.

## **II. PROPUESTAS RELACIONADAS CON LA EXPLOTACIÓN**



### **II.1. Organismo coordinador de la supervision**

Los países deberían crear un organismo coordinador para supervisar la gestión de incidentes en túneles de carretera llevados a cabo por los responsables del control del túnel.

### **II.2. Responsable de seguridad**

Para todos los túneles de longitud superior a 1.000 m debe nombrarse un responsable de seguridad.

### **II.3. Prácticas periódicas para equipos de incendio y rescate**

Debe establecerse un reglamento para el control de las prácticas periódicas para los equipos de incendio y rescate de cada túnel, de modo que se lleven a cabo en condiciones lo más realistas posible.

### **II.4. Túnel para prácticas y ensayos**

Debe construirse y ponerse a disposición de los servicios de emergencia un túnel independiente de la red de tráfico, donde aquéllos puedan llevar a cabo el aprendizaje y ensayo.

### **II.5. Datos sobre fuegos**

Deben registrarse los detalles de todos los fuegos en túneles y ser estudiados por los responsables de seguridad y el organismo nacional de coordinación.

### **II.6. Ventiladores móviles de altas prestaciones**

Debería examinarse cuidadosamente la pertinencia de poner a disposición de los servicios de emergencia equipos móviles de ventilación de altas prestaciones.

## **II.7. Cámaras detectoras de calor**

Los equipos de bomberos deberían estar equipados con cámaras detectoras de calor.

## **II.8. Cierre de carriles**

Los cierres de carriles provocados por trabajos de construcción y mantenimiento previstos con anterioridad deben hacerse siempre fuera del túnel. En esos casos, deben evitarse los semáforos dentro del túnel, que sólo deberán ser usados para el caso de incidentes.

## **II.9. Tiempo de respuesta en una emergencia**

El tiempo de llegada de los equipos de emergencia en respuesta a una alarma por incidente dentro del túnel debe reducirse al máximo. En túneles con alto riesgo potencial (grandes túneles con tráfico pesado y doble sentido) puede ser preciso estacionar equipos de emergencia en ambos extremos del túnel.

## **II.10. Establecimiento de un único centro de control**

Para túneles que conectan países distintos o que están controlados por autoridades de diferentes regiones de una nación, debe adjudicarse en todo momento la responsabilidad de control a un único centro de control.

## **II.11. Control del cumplimiento de las normas de tráfico**

Debe mejorarse este control mediante el uso de sistemas automáticos de ayuda en la detección y sanción de las infracciones en túneles.

## **II.12. Sistemas de gestión de tráfico**

Los túneles con tráfico de alta intensidad deberán equiparse con sistemas de gestión de tráfico que contribuyan a evitar la congestión en los túneles.

## **II.13. Itinerarios alternativos**

Deben preverse los mejores itinerarios alternativos a un cierre (a corto o largo plazo) del túnel, diversificando los trayectos y haciéndolo saber a las autoridades.

## **II.14. Utilización de los sistemas de ventilación**

En relación con ello, debería conseguirse una mayor armonización basando por ejemplo las normas nacionales en las Directrices PIARC.

## **II.15. Recomendaciones para los ensayos de fuego**

Deben redactarse recomendaciones internacionales para la preparación, desarrollo y evaluación de los ensayos de fuego en túneles. Hasta su redacción, todos los ensayos necesitan la aprobación de las demarcaciones de carreteras afectadas.

## **II.16. Examen sobre el calentamiento de vehículos pesados**

En, al menos, los túneles con accesos precedidos por rampas largas y pronunciadas (como ocurre en muchos túneles de montaña) debería establecerse un control (automatizado o no) de los sobrecalentamientos en vehículos pesados, especialmente motor y frenos, llevado a cabo antes de la entrada al túnel.

### III. PROPUESTAS RELACIONADAS CON LA INFRAESTRUCTURA



#### III.1. Número de tubos y carriles

Puesto que el túnel es parte integrante del sistema viario, el criterio principal a la hora de decidir la construcción de uno o dos tubos debe ser la intensidad de tráfico de proyecto y la seguridad.

#### III.2. Recomendaciones para ventilación y salidas de emergencia

Estas recomendaciones deben coordinarse internacionalmente. En tubos únicos (con tráfico en uno o dos sentidos) las recomendaciones deberían especificar en qué circunstancias son necesarias las vías de escape.

#### III.3. Uso de conexiones transversales en túneles gemelos

En el caso de accidente en uno de los tubos gemelos, el otro deberá usarse como vía de evacuación y rescate, a menos que existan, en ambos, galerías de conexión con el exterior.

#### III.4. Cruce de la mediana en las entradas al túnel

Siempre que sea posible debe facilitarse un cruce de la mediana delante de las bocas del túnel.

#### III.5. Recomendaciones sobre el equipamiento de túneles

Éstas deben adaptarse al nivel actual de la tecnología teniendo en cuenta el trabajo llevado a cabo por PIARC y otros organismos internacionales.

#### III.6. Sistemas de extinción automática de incendios

La tecnología todavía no está lo bastante adelantada como para recomendar su uso en túneles.



### **III.7. Tipificación de una curva tiempo-temperatura**

Se recomienda esta tipificación, representativa de un incendio violento en un túnel, para asegurar la resistencia al fuego de las estructuras y equipos indispensables para la seguridad.

### **III.8. Equipo de seguridad**

Los requisitos en cuanto a equipos deben determinarse tras un estudio caso a caso del riesgo potencial de incendio en cada túnel específico.

### **III.9. Sistemas de señalización viaria**

Los reglamentos de señalización viaria en túneles y sus accesos deben mejorarse y armonizarse internacionalmente.

### **III.10. Señalización de vías de evacuación e instalaciones de seguridad**

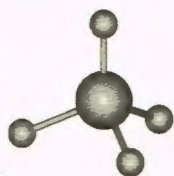
Los correspondientes reglamentos deben mejorarse y armonizarse internacionalmente.

### **III.11. Criterios para supervisión humana**

Deben establecerse criterios para la toma de decisiones sobre la supervisión humana o por vídeo-señal en ciertos túneles (v.g.: túneles largos, grandes intensidades de tráfico).



## IV. PROPUESTAS RELACIONADAS CON LOS VEHÍCULOS



### IV.1. Instrumentos para la extinción del fuego

Para todos los vehículos pesados (mercancías, autocares y autobuses) debe hacerse obligatorio el equipamiento con extintores manuales de incendio. Además, debe estudiarse la posibilidad de dotarlos con equipos detectores de calor e incluso de extinción automática.

### IV.2. Cantidad de combustible transportado

La cantidad de combustible transportado, no clasificado como mercancía peligrosa, debe reducirse para disminuir las consecuencias potenciales en caso de incendio del vehículo en un túnel.

### IV.3. Resistencia al fuego de los depósitos de combustible

Debe estudiarse la pertinencia y condiciones en las que se exija una resistencia al fuego para los depósitos de combustible de camiones pesado, autocares y autobuses.

### IV.4. Peso y dimensiones de los vehículos pesados

Se recomienda que no se permitan más incrementos en el ancho de los vehículos pesados o su carga útil, lo que conduciría al incremento de su capacidad calorífica.

### IV.5. Uso de materiales muy inflamables en los vehículos

Deben estudiarse medidas de prohibición del uso de materiales muy inflamables en la construcción de vehículos (incluidos los congeladores).

### IV.6. Inspecciones técnicas

Todos los camiones, autobuses y autocares deben someterse a una inspección técnica anual como la definida por el acuerdo UNECE de 13 de noviembre de 1997 o por la directiva europea 96/96/EC, especialmente en los aspectos que contribuyen a la prevención de los incendios en los vehículos.

